

**EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR**

**ADSZORBEÁLHATÓ SZERVES HALOGÉN VEGYÜLETEK
KONCENTRÁCIÓ VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA KOMMUNÁLIS
SZENNYVÍZEK ELTÉRŐ MÓDSZEREKKEL TÖRTÉNŐ
FERTŐTLENÍTÉSE SORÁN**

TDK dolgozat



Készítette:
TURCSÁN EDIT
KÖRNYEZETTUDOMÁNY SZAKOS HALLGATÓ

Témavezető:
DR. BARKÁCS KATALIN
adjunktus

Budapest
2010

TARTALOMJEGYZÉK

ABSTRACT	3
RÖVIDÍTÉSEK	4
1. BEVEZETÉS	5
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1 AOX vegyületek mérése	6
2.2 AOX vegyületek eltávolítása szennyvízből	8
3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK, ESZKÖZÖK.....	13
3.1 Mintavétel.....	13
3.2 Mérés körülményei.....	14
3.3 Minta-előkészítés	18
3.4 A multi X 2000 típusú AOX készülék méréshatárai, ellenőrző mérések.....	21
3.4.1 Cellapróba	22
3.4.2 Analitikai rendszer ellenőrzése	23
4. MÉRT ADATOK ÉS EREDMÉNYEK.....	26
4.1 Vakminta	26
4.2 Kémiailag kezelt kommunális elfolyó víz vizsgálata.....	27
4.2.1 Minta-előkészítés, mérési módszer kidolgozása	27
4.2.2 Az elfolyó víz klórozása a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepen.....	30
4.2.3 Korszerű oxidáló vegyszerekkel kezelt elfolyó víz AOX tartalma.....	32
5. ÖSSZEFOGALÁS	35
6. IRODALOMJEGYZÉK.....	36
7. MELLÉKLET	40
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	43

ABSTRACT

Napjaink egyik környezetvédelmi problémája a különböző, már kis mennyiségben is rendkívül káros szerves halogenid vegyületek megjelenése a környezetben. A szerves halogenidek többnyire oxidatív (fertőtlenítő, fehérítő) eljárások, az oxidálószeres és a szerves vegyületek reakciója során keletkeznek.

TDK munkám célja a szennyvíztelepről elfolyó, mechanikailag és biológiailag tisztított kommunális szennyvíz fertőtlenítésére alkalmazott klór és az ennek helyettesítésére használt egyéb, korszerű oxidálószeres hatására keletkező adszorbeálható szerves halogenidek (AOX) koncentrációjának meghatározása volt. A szennyvízminták a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepről származtak. Havi rendszerességgel vizsgáltam az elfolyó vízből klórozás előtt és után vett mintákat, továbbá néhány esetben a laboratóriumi körülmények közt korszerű oxidatív módszerrel kezelt minták AOX tartalmát.

A szerves halogenid tartalom méréséhez a vizsgált minták összetételének megfelelően optimáltam a minta-előkészítési módszert. A koncentrációkat ezt követően Multi X 2000 AOX analizátorral határoztam meg. Megállapítottam, hogy a biológiailag kezelt elfolyó víz AOX tartalma (kloridionban kifejezve) 36,6 és 237,7 $\mu\text{g/L}$, míg a telepi klórozás utáni elfolyó vize 158,7 és 380,9 $\mu\text{g/L}$ között változott. A klórozást követő vízminták AOX tartalma minden esetben nagyobb volt, mint az eredeti elfolyó vize. Laboratóriumi körülmények közt kétféle oxidálószerrel folytattam összehasonlító vizsgálatokat. A kétféle oxidálószer alkalmazó derítés során az oxidálószeres eltérő koncentrációban adagoltuk a mintákhoz. A mért adatok alapján megállapítható volt, hogy adott, megfelelő fertőtlenítő hatást biztosító oxidálószer-koncentráció alkalmazásakor a kezelt elfolyó víz AOX koncentrációja a kétféle oxidálószer esetén eltérően alakult. Egyik oxidáló módszer esetében a szükséges mértékű vegyszeradagolás növelte a kezelt víz AOX tartalmát, míg a másik oxidáló eljárás használata során az eredeti elfolyó vízzel megegyező, vagy annál kisebb AOX tartalmat nyertem.

A vizsgálatok során kapott adatok alapján összességében az volt megállapítható, hogy az adott biológiailag tisztított kommunális szennyvíz megfelelő oxidáló módszerrel történő kezelése a klórgázzal történő fertőtlenítéshez képest kedvezőbb eredményre vezetett; az AOX tartalom kedvezőbb alakulása mellett a laboratóriumban vizsgált oxidatív eljárások egyike csíramentesítés, illetve a szerves anyag eltávolítás tekintetében is hatékonyabbnak bizonyult.

RÖVIDÍTÉSEK

AOCl	Adsorbable Organic Chlorine Adszorbeálható szerves klór
AOX	Adsorbable Organic Haloids Adszorbeálható szerves halogenidek
Da	Dalton tömegegység
DOC	Dissolved Organic Carbon Oldott szerves széntartalom
IC	Inorganic Carbon Szervetlen széntartalom
KOI	Chemical Oxygen Demand Kémiai oxigén igény
TC	Total Carbon Összes széntartalom
TN_b	Total bounded Nitrogen Összes kötött nitrogéntartalom
TOC	Total Organic Carbon Összes szerves széntartalom

1. BEVEZETÉS

Napjaink egyik környezeti problémája a különböző szerves halogenid vegyületek megjelenése a felszíni vizekben, illetve a szennyvizekben, amely vegyületek kis mennyiségben is rendkívül károsak. A szerves halogenidek többnyire oxidatív (fertőtlenítő, fehérítő) eljárások, az oxidálószeres és a szerves vegyületek reakciója során keletkeznek. Ezen antropogén eredetű mikro-szennyezők nemcsak íz- és szagrontó hatásúak, de leginkább karcinogén, teratogén, illetve mutagén tulajdonságokkal rendelkezhetnek, amelyek az emberek mellett más élőlényeket is közvetlenül vagy a táplálékláncban akumulálódva, biomagnifikáció révén károsíthatnak.

Dolgozatomban a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepről elfolyó, mechanikailag és biológiailag tisztított kommunális szennyvíztisztítási folyamatban fertőtlenítésre alkalmazott klór és az ennek helyettesítésére használt egyéb oxidálószeres hatására keletkező adszorbeálható szerves halogén vegyületek változását vizsgálom. Céлом volt, hogy ezen bonyolult mátrix-szal rendelkező mintákból is megbízhatóan meghatározható legyen az AOX tartalom, tekintve, hogy a különböző szerves halogenid vegyületek megjelenése veszélyeztetheti a vizekben egyes állat- és növény populációkat, de nem utolsósorban az ivóvízkészleteinket, ezért fontos ezen antropogén eredetű vegyületek vizsgálata, esetleges változásai nyomon követése.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az AOX jelentése: Adsorbable - *Adszorbeálható* Organic – *szerves* Haloids – *halogenidek* (X=klorid, bromid, jodid), a klorid, bromid és jodid tartalmú szerves vegyületek összességét jellemzi összefoglaló néven. Folyadék és szilárd halmazállapotú mintákból egyaránt mérhető ez az összegparaméter. 1976-ban vezették be az AOX fogalmát kezdetben csak a „valóban” adszorbeálódott vegyületekre alkalmazták pl. a diklór-difenil-triklór-etánra (DDT) és metabolitjaira, illetve a poliklórozott bifenilekre (PCB). A klór tartalmú szerves komponenseket és a nagy molekulatömegű – nem adszorpció révén mintába kerülő – szerves vegyületeket pl. poli-vinil-klorid (PVC) darabkákat ennek megfelelően nem tekintették az AOX vegyületek alkotó részének (MÜLLER G. 2003).

2.1 AOX vegyületek mérése

Az AOX vegyületek vizsgálatát a jelenleg már magyar szabványszámmal hatályban lévő MSZ EN 1485 ISO 9562: 2004 forrásszabvány szerint vizsgálják. Az AOX vegyületek mérése három fő lépésből áll, így a minta aktív szénen való adszorbeáltatása, égetése, illetve a halogének detektálása. A halogének detektálásának többféle lehetősége van, így lehet coulometriásan, gázkromatográfiás-, plazma emissziós módszerrel, illetve fotometriásan mérni ezen halogénezett vegyületeket.

Az AOX összegparaméter meghatározására vonatkozó szabvány legtöbbször vizsgálati módszerként a coulometriás detektálást javasolja (elvet ld. a 3.2 fejezetben) (MSZ EN 1485 2004). A halogén vegyületek közül a fluor tartalmú szerves vegyületek ezzel a coulometriás módszerrel nem határozhatóak meg, ugyanis az elektrolit oldatban nem csapadékként, hanem komplex formában vannak jelen (ANALYTIK JENA 2004).

Az adszorbeálható szerves vegyületeket az irodalmi áttekintés alapján általában coulometriás módszerrel határozzák meg milli-, illetve mikrogramm nagyságrendben (ANALYTIK JENA 2004), akad szerző azonban, aki ennél pontosabb, nanogrammm nagyságrendű szerves halogenid kimutatásáról számol be (MURÁNYI R. 2004; MURÁNYI R., CSERFALVI T. 2007). A mérési

módszer optimális működéséhez az Analytik Jena AG nemcsak a minta mátrix zavaró hatásaival foglalkozik, hanem a coulometriás módszerhez használt elektrolit oldat optimális mennyiségének meghatározásával is. Megállapították, hogy az elektrolit oldat térfogatának 10-20 ml között kell lennie, hogy a mintákra mért eredmények jól reprodukálhatóak legyenek. Az AOX vegyületek kimutatását a minta összetételét alkotói, így a szabad klórtartalom, a szerves klorid, az oldott szerves anyag tartalom (DOC), elemi jód illetve bróm, de a kénformák közül a szerves kötésű kén is zavarhatja. A hatályban lévő szabvány alapján nagy aktív klórtartalom esetén tanácsos nátrium szulfidot adagolni a mintához, míg a szerves bróm és jód vegyület elemi halogének keletkezésével negatív hibát okoz. A fluor tartalmú szerves vegyületek mellett az egyes poláros és hidrofíll anyagokat pl. monoklór-ecetsavat kvantitatívan nem lehet meghatározni (MSZ EN 1485 2004). Sokan foglalkoznak az egyes zavaró komponensek, így pl. a szerves kénvegyületek vizsgálatával. Azt tanulmányozták, hogy ezek a vegyületek hogyan befolyásolják az adszorbeálható szerves halogén tartalmat meghatározott környezeti mátrixban. A legtöbb környezeti minta esetén a szerves kénvegyületek koncentrációja nem számottevő, de egyes minták pl. szennyvizek, felszín alatti vizek esetén nagyobb mennyiségben fordulnak elő. Greon és Dybdahl azt vizsgálta, hogy az adagolt kénvegyület koncentrációjának növelésekor mennyire kapható vissza az eredeti vízmintrára mért AOX tartalom. Megállapították, hogy a mintákhoz mesterségesen hozzáadott szerves kénvegyület koncentrációja nem lineárisan változtatja az AOX értékét. Amikor azonban a hozzáadott kénvegyület mennyisége nagyobb volt, kénre nézve a vizsgált kútvíz mintában 0,75-1,50 mg, az eredetileg $\geq 0,5$ μg AOX összegparaméter értéke 70-140 μg -ra változott, jelentősen megemelkedett (GREON C., DYBDAHL H. P. 1996).

Olyan mérési megoldást is publikáltak az AOX vegyületekre vonatkozóan, amikor ezen szerves vegyületeket coulometriásan mérték, de kiegészítették egy ionkromatográffal az analízátort, hogy az összegparaméter alkotói is meghatározhatóak legyenek (DREWES J. E., JEKEL M. 1998). A legtöbb esetben az AOX összetevőit gázkromatográfiás módszerrel határozzák meg (GREON C., DYBDAHL H. P. 1996). Egyes kísérletekben az összegparamétert alkotó szerves klór és bróm mérésére plazma emissziós spektrometriás módszert alkalmaztak (KOSCHUH B. et al. 1998, TWIEHAUS T. et al. 2001). A plazmaemissziós spektrometriás méréskor alkalmazott minta-előkészítés során is aktív szénen adszorbeáltatják a mintában lévő AOX vegyületeket, majd a szerves zavaró komponenseket eltávolítják, ezt követően 950 °C-on égetik a szenet, majd detektálják halogenid tartalmát.

Az adszorbeálható szerves halogén vegyületek folyadék halmazállapotú mintákból nedves oxidációs módszerrel Nanoclor AOX 3 megnevezésű gyorseszttel is meghatározhatók. A minta AOX tartalmát aktív szénen adszorbeáltatják, majd termo reaktorban az aktív szenet elroncsolják. Ezt követően az adszorbeálható szerves halogén vegyületeket szervesetlen kloridként fotometriásan 470 nm-es hullámhosszon határozzák meg. Ez a teszt módszer 0,01-0,30 mg/L AOX koncentráció intervallumon belüli mérést tesz lehetővé (MACHEREY–NAGEL GMBH & Co.).

2.2 AOX vegyületek eltávolítása szennyvízből

Az AOX vegyületek általában oxidatív (fertőtlenítő, fehérítő) eljárások, az oxidálószeres és a szerves vegyületek reakciója során keletkeznek, ipari tevékenység során kerülnek bele a felszíni vizekbe, ezért fontos ezen vegyületeket még a felszíni vizekbe való kijutásuk előtt vizsgálni és ha szükséges, csökkenteni mennyiségüket a szennyvizekben. A legnagyobb mennyiségben az AOX vegyületek papír-, cellulózzgyártás során keletkeznek, innen származik ezen vegyületeknek mintegy 50 %-a (AURAS 2001; SALKINOJA-SALONEN M. et al. 1995).

Az oxidáció és a fertőtlenítés olyan folyamatok, amelyek fontos szerepet játszanak a környezetállapot fenntartásában-javításában. A kommunális szennyvíztisztító telepek is sok esetben utolsó tisztítási folyamatként általában klórgázzal oxidáló, fertőtlenítő kezelést alkalmaznak. Oxidációs és fertőtlenítési célra nagyszámú, a legkülönbébbébb sajátosságú oxidáló/fertőtlenítő szer alkalmazható. A leggyakoribb vegyületek használatának azonban korlátai vannak, pl. egyik ilyen problémát okozó hátrány a fertőtlenítési folyamatok során keletkező, potenciálisan káros melléktermékek képződése (DBPs - disinfection by-products), ezek közé tartozó vegyületek pl. a trihalometánok (ROOK, 1974) és a bromátok (HAGG – HOIGNE, 1983).

Fertőtlenítéssel illetve oxidációval általában a patogén baktériumok elpusztítása és a vírusok inaktiválása a cél. Leggyakrabban az iparban klórgázt alkalmaznak, ami hatékonyan akadályozza a baktériumok utószaporodását. Azonban a klórgáz használatánál ügyelni kell a víz szerves anyag mentesítésére, ugyanis ennek következtében káros, egészségügyi szempontból veszélyes melléktermékek keletkezhetnek pl. hipoklorit-ion, hipoklóros sav. Ha nem klórgázzal, hanem nátriumhipoklorit oldattal történik a klórozás, akkor különböző klórozott aminok (pl.

monoklóramin, diklóramin, triklóramin) keletkezhetnek. Sajnos ezek a klóraminok mellett, hogy kellemetlen ízt és szagot kölcsönöznek a szabad klórnál gyengébb oxidálószernek számítanak.

Az oxidáció történhet még klór-dioxiddal is. A klór-dioxid reakciója a szerves anyagokkal klórozott melléktermékek képződéséhez vezet. A klór-dioxid ammóniával, illetve nitrogéntartalmú vegyületekkel nem lép reakcióba, ami nagy előnyt jelent, mindamellett, hogy baktericid hatása erőteljes. Környezeti problémát a klorátképződés jelenthet. Ezen fertőtlenítési forma használatával kevésbé ismert hatású nem illékony vegyületek keletkeznek, azonban trihalometánok nem. A reakció során közvetlenül képződik mérgező szervesetlen klorit és klorát, ami általában a kezelendő minta szerves anyag tartalmától függ.

Fertőtlenítést még káliumpermanganáttal is folytathatnak. A káliumpermanganát erős oxidálószer, így nem csak vas- és mangántalanításra hanem íz és szaganyagok, valamint egyes trihalometán-képző komponensek eltávolításához is alkalmazható. Sajnos ezen oxidálószer alkalmazását, ha íz- és szaganyagokat eltávolítás a cél, akkor aktív szén szorpciót kell alkalmazni. A káliumpermanganátos oxidáció nem eléggé hatékony, így alkalmazásuk nem terjedt el.

További oxidálószer még az ózon is, amely molekula-szerkezetének köszönhetően rendkívül reakcióképes. Az ózonizációs folyamatokban a molekuláris ózon illetve a hidroxil gyökök az uralkodók. A ózon leggazdaságosabban a levegő oxigénjéből, elektromos kisülések révén állítható elő, sajnos általános baktericid-hatással nem rendelkezik, így ivóvíz fertőtlenítésnél nem alkalmazható más oxidálószer alkalmazása nélkül.

Továbbá hatásos fertőtlenítőszer lehet a hidrogén-peroxid is. Magyarországon is használják a hidrogén-peroxid és ezüst tartalmú oxidálószereket. A fertőtlenítés során nemcsak kémiai, de fizikai módszereket is alkalmaznak, így próbálkoztak mikro- és ultraszűrővel is. Az utóbbi eljárást általában a mikrobák eltávolítására, a zavarosság csökkentésére alkalmazzák.

Számos káros melléktermék képződése miatt a klórt helyettesítő fertőtlenítő szerek (pl. bróm, jód, klórdioxid, ózon) hatásait elterjedten tanulmányozzák. A potenciálisan víz- és szennyvízkezelésben alkalmazható (1. táblázat) vegyületek közül az adott célra megfelelő kiválasztásakor tekintetbe vehető az eltérő redoxipotenciál, a kezelendő vízösszetétel, tekintve, hogy használatukkor is számos egyéb káros melléktermék, az ember és a vízi élet szempontjából toxikus vegyület képződésével kell számolni.

Fertőtlenítő/oxidáló	Kémiai reakció	E ⁰ (V)
Klór	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \leftrightarrow 2\text{Cl}^-$	1,358
	$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$	0,841
Hipoklorit	$\text{HClO} + \text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	1,482
Klórdioxid	$\text{ClO}_2 + \text{e}^- \leftrightarrow \text{ClO}_2^-$	0,954
Perklorát	$\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8\text{e}^- \leftrightarrow \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	1,389
Ózon	$\text{O}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2,076
Hidrogénperoxid	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,776
Oldott oxigén	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1,229
Permanganát	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \leftrightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,679
	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \leftrightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,507

1. táblázat A víz és szennyvízkezelésben használt oxidáló-és fertőtlenítőszeres redoxipotenciálja (Jiang et al., 2005)

Összességében elmondható, hogy az oxidálószeresek közül mindegyik használatával keletkeznek környezeti szempontból néhol veszélytelenebb, néhol pedig veszélyesebb melléktermékek. Ezen oxidálószeres használatának célja az lenne, hogy a fertőtlenítés során jó hatásfokkal működjenek és a lehető legkevesebb, környezetileg a legártalmatlanabb melléktermékek képződjenek használatukkal. Folyamatosan folynak kutatások új oxidáló eljárásokkal, amelyek hatékonysága nagy és mindemellett kevesebb és környezetileg is ártalmatlanabb melléktermékek képződnek alkalmazásukkal.

Az irodalomban lehet példát találni különböző hűtővizek AOX koncentrációjának csökkentésére, így a Párizs melletti Boulevard de la Muette-ban számos gyárból, üzemből származó (pl. hőerőmű, acél-, fémgyártás, vegyi üzemek) hűtővíz kezelésével foglalkoztak. Az AOX vegyületeket Wedeco 0,15 mg/L alá csökkentette ózont alkalmazó kezeléssel (WEDECO 2003). Az ausztráliai Hope Walley tóban, illetve a Myponga tóban szintén azt vizsgálták, hogy ózon hatására mennyire csökken az AOX mennyisége. A Hope Walleyben 46 %-os, míg a Mypongában 50 %-os hatásfokkal sikerült ezen adszorbeálódó vegyületeket eltávolítani (KOSTAKIS C., NICHOLSON B. C. 2001). Az Amerikai Egyesült Államokban, San Francisco-ban is ózonnal próbálták eltávolítani egy hulladéklerakó csurgalék vizéből az AOX vegyületeket. A 3–5

mg/L-es AOX koncentrációjú csurgalék vízből 500 µg/L alá sikerült csökkenteni ezzel az eljárással az adszorbeálható szerves halogénvegyület tartalmát (KAULBACH R. 1993). Kísérletek folytak az AOX vegyületek fotokatalitikus eltávolítására is (UĞURLU M., KARAOĞLU M. H. 2009). Az AOX vegyületeket textil és detergens gyártás során keletkező szennyvízből és ennek iszapjából is próbálták eltávolítani. Átlagosan a vizsgált szennyvíziszap AOX koncentrációja 500 mg volt kilogrammonként. Kezelés nélkül a napon való 3 hónapos állás során sikerült ezen eleveniszap AOX tartalmát lecsökkenteni, így a megfigyelésük során 130 mg-os mennyiséget értek el kilogrammonként (SHOMAR B. 2007).

A szakirodalomban található olyan AOX eltávolítási megoldás is, amikor egy baktérium fajjal (*Penicillium camemberti*) próbálták meg papírgyártásból származó halogén vegyületeket lebontatni. A kísérletben 60-65 % hatásfokot értek el (TASELI. B. K. 2007). Egy indiai tanulmányban pedig a papírgyártáskor képződött halogénezett szerves anyagok biodegradációját vizsgálták. A hatásfok 88 %-os volt, a módszer tökéletesítésével pedig 93 %-ot is elértek 28 mg/L-es kiindulási AOX tartalom esetén (DESHMUKH N. S. et al. 2009). Spanyolországban a barcelonai szennyvíztisztító telepen az iszaprohasztók működését vizsgálták termofil (50 °C) és mezofil (35 °C) körülmények között, úgy hogy a két reaktorban az anaerob biodegradáció változását figyelték, miközben dehalogénezést alkalmaztak. Az AOX vegyületek esetén termofil körülmények között 59,4–83,5 %-os, míg mezofil körülmények között 30,2–40,2 %-os eltávolítási hatásfokot értek el (BENABDALLAH EL-HADJ T. et al. 2007).

A szakirodalomban volt példa arra is, hogy szennyvízből, illetve talajvízből adszorbeáltatták in situ módszerrel előállított Fe(III) hidroxid komplexen a halogén tartalmú szerves vegyületeket. A Fe(III) hidroxid komplexet Fe(II) és kvasav reakciójával nyerték. Fisher közlése alapján az AOX eltávolítás hatásfoka kedvező volt, ugyanis az adszorbeálódott vegyületek koncentrációja a kezelés során 1 mg/L alá csökkent (FISCHER J., WOLF J. 1991).

Az AOX vegyületek mennyiségét különböző szűrőkkel is próbálták csökkenteni. A Georgia-Pacific Brunswick ASB-nél mintát vettek a befolyó illetve kifolyó szennyvízből, melyet három módon kezeltek, így az első minta előkezelés nélküli, a második durva szűrés után (0.8 µ-s üvegszűrő), a harmadik pedig 500 Da-s szűrés után keletkezett minta volt. Összességében az AOX vegyületek eltávolítása 40 %-os hatásfokú volt (BANERJEE S. et al. 1996). Kommunális szennyvizet is kezeltek aktív szénrel illetve eleveniszappal, így csökkentve AOX tartalmát. A biológiai kezelés 24 %-kal csökkentette a szennyvízben lévő AOX vegyületeket. Az aktív szenes

kezelés kezdeti kísérleti fázisában három fajta szén használatával csupán 9–20 %-os eltávolítási hatásfokot értek el (BORNHARDT C. et al. 1997). Egy 2007-es cikkben arról számolnak be, hogy az uszodavízből a fertőtlenítés során keletkező melléktermékeket UV lámpákkal, illetve aktív szén használatával kombinálva távolították el. Megállapították, hogy az UV kezelés után friss aktív szénnel 12%-kal jobb hatásfokot tudtak elérni, mint már előzőleg használt szénnel (SENTEN R., CALDERS R. 2007).

A kommunális szennyvizek klóros fertőtlenítésekor is keletkezhetnek AOX vegyületek, amelyek belekerülnek a felszíni vizekbe. Ezen vegyületek koncentrációjának csökkentése veszélyességük miatt egyre szükségsebb lenne. Folytak kísérletek kommunális szennyvizek AOX tartalmának csökkentésére ózonos eltávolítással, különböző baktériumok segítségével, illetve aktív szenes és UV kezelés kombinációjával. Az ózonnal való AOX vegyület eltávolítás igen hatékony, rövid kontaktidő elegendő az ózon esetén, gyorsan lebomlik, ami a szennyvíznél előnyt jelent, illetve a befogadó oldott oxigén koncentrációjára kedvező hatással van. Az ózon alkalmazása azonban költséges, a kezelés után a levegőben maradt ózont pedig meg kell semmisíteni, továbbá a szennyvíz minősége is befolyásolja az ózonos kezelés hatékonyságát. Az UV sugárzással való kezelésnek is több előnyéről számolnak be, így megállapították, hogy rövid kontaktidő mellett hatékony, illetve egészségre ártalmas melléktermékek nem keletkeznek a kezelés során, viszont a vízminőség hatással van a fertőtlenítés hatékonyságára (LAKY D. 2008).

Megállapítható a szakcikkek áttekintve, hogy a minták AOX tartalma csökkenthető volt a különböző módszerekkel, az eltávolítás hatásfoka azonban függött a kezelendő víz összetételétől, és az, hogy egyik esetben sem tudták maradéktalanul eltávolítani ezen vegyületeket.

3. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK, ESZKÖZÖK

3.1 Mintavétel

Az AOX készülékkel folyadék és szilárd minták is vizsgálhatóak. TDK munkám során a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepről (1. ábra) elfolyó, mechanikailag és biológiailag tisztított kommunális szennyvíz fertőtlenítésére alkalmazott klór és az ennek helyettesítésére használt korszerűbb oxidálószerrek hatására keletkező adszorbeálható szerves halogenidek (AOX) koncentrációjának változását követtem figyelemmel. A klórozó előtti biológiailag kezelt és a klórozó utáni biológiailag és kémiaileg kezelt elfolyó víz mintákat a laboratóriumi vizsgálatokhoz a Fővárosi Csatornázási Művektől szállították fél éven keresztül. Az egyetemen laboratóriumi körülmények között kétféle oxidatív eljárással a biológiailag kezelt, klórozás előtt vett elfolyó vízzel folytak a kutatások.



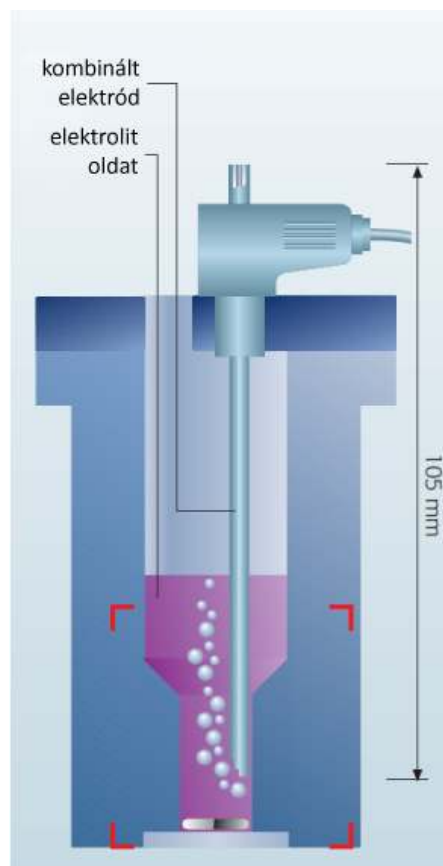
1. ábra Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep
Forrás: <http://www.enviroduna.hu/altmuszi.html>

Havi rendszerességgel vizsgáltam az elfolyó víz klórozás előtt és után vett mintákat, továbbá esetenként a laboratóriumi körülmények között kétféle oxidatív módszerrel kezelt minták AOX tartalmát. Az általam mért, analízisre került minták száma a vizsgálati időszakban összesen 55 db volt, amelyeket 3 párhuzamos ismétléssel mértem.

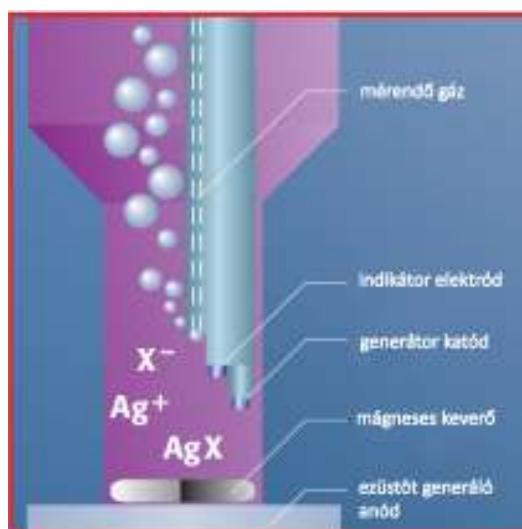
3.2 Mérés körülményei

Az adszorbeálható szerves halogén (AOX) vegyületeket az Analytik Jena által gyártott multi X 2000 típusú AOX analizátor segítségével az MSZ EN 1485 ISO 9562: 2004 szabvány alapján határoztam meg. (A készülék felépítése az 3. ábrán látható.) A minták szerves halogén vegyületeit aktív szénen adszorbeáltattam, majd az adszorbeált szerves halogenideket és az aktív szenet tartalmazó kvarccsöveket 950 °C-os hőmérsékleten 4.5-ös tisztaságú oxigénáramban kiégettem.

Az égetés közben keletkező forró füstgázok gőzöket és nedvességet (pl. HCl, CO₂ és H₂O) tartalmaznak, amelyek kondenzálódhatnak a hideg cső felületén. Ez a kondenzátum zavarná a mérést, mivel a HCl gáz megköti a vizet, így a kemencét elhagyó gázokat tömény kénsavval azonnal szárítani kell. Ezen gázok szárítása után a halogenideket a készülék argentometriásan, mikro-coulometriával határozza meg. A készülék a cellában lévő elektrolitból a megfelelő polaritású elektródon áram segítségével reagenst állít elő, amellyel meghatározhatóak a halogenidek. A 2. ábrán látható a készülékhez tartozó coulometriás cella, a benne lévő ecetsavas elektrolit oldattal, ami a halogének kvantitatív abszorpciójára alkalmas.



2/a. ábra A multi X 2000 típusú AOX készülék coulometriás cellája

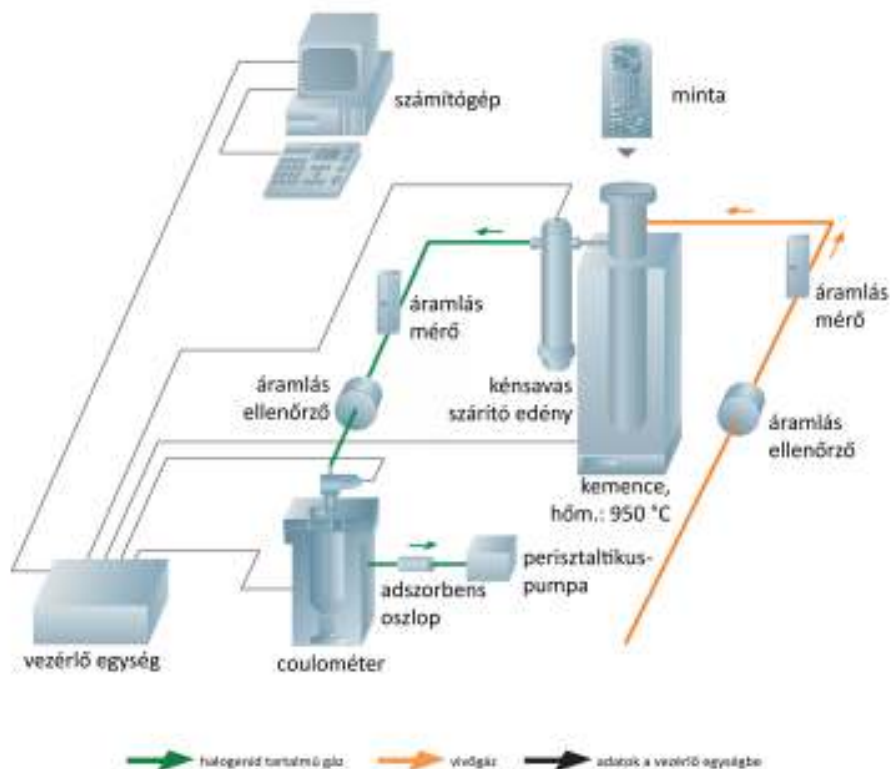


2/b. ábra A multi X 2000 típusú AOX készülék coulometriás cellájának részlete

Az elektrolit oldatba egy kombinált elektród merül be. Ez a generátor katódból és két indikátor elektródból áll, az előbbi platina, az utóbbi pedig ezüst. A következő reakcióegyenletnek megfelelően ecetsavas közegben megy végbe a folyamat a cellában.



A halogenid csapadékhoz szükséges ezüst ionokat elektrolitikusan, anódos árammal állítja elő a készülék. A konstans áramerősség mellett végzett elektrolíziskor a bekerülő halogenid ionok megváltoztatják a munkaelektrod potenciálját, így a két polarizált ezüst elektród között áram jön létre, ami arányos az ezüst ionok koncentrációjával. A halogének csapadékként való leválása után az ezüst ionok koncentrációja az elektrolitban növekedni kezd. Ez a titrálás végpontja, amit a polarizált indikátor elektródpár segítségével a mérőcella felismer. A halogének mennyiségét a töltésmennyiségből, közvetve a létrejövő feszültségből számolja ki az analizátor, amit addig a pillanatig használt fel, amíg a titrálás végpontját el nem érte. A mért halogéneket együttesen klorid-egyenértékben kifejezve klorid tartalomként jelzi ki a készülék. A cellából a gázok egy perisztaltikus pumpa segítségével tudják elhagyni a cellát, majd egy adszorbens oszlopon keresztül átszűrődve kikerülnek a laboratóriumi levegőbe.



3. ábra A multi X 2000 típusú AOX készülék elvi felépítése

A laboratóriumban továbbá vizsgáltam az elfolyó víz általános kémiai paramétereit közül azokat, amelyek segítségével tájékozódhattam az AOX mérés körülményeiről, így sor került a mérést befolyásoló paraméterek közt a pH, kloridion, TOC, és KOI koncentráció változásának vizsgálatára is.

Az elfolyó vizek csíraszám meghatározását a Mikrobiológiai Tanszék végezte a *MSZ EN ISO 6222: 2000* számú szabvány alapján. A tanszéken a szabványnak megfelelően a receptet elővizsgálatok adatai szerint módosítva alkalmazták.

A pH értékét elektrokémiai módszerrel Radelkis OP-264 típusú pH mérővel határoztam meg. (*MSZ 260-4 – Szennyvíz vizsgálatához*)

A kloridion koncentrációja, a lúgosság és a keménység meghatározása mikrotitrimetriás módszerrel történt. A kloridion koncentrációjának mérés argentometriásan, kálium-kromát indikátor jelenlétében ezüst-nitráttal végezhető el. (*MSZ 260-6 – Szennyvíz vizsgálatához*)

A TOC vizsgálat az Analytik Jena gyártmányú, Multi N/C 2100S nevű készülékkel került meghatározásra, az MSZ EN 1484:1998 szabvány előírása alapján. Az égetéssel felszabaduló szén-dioxid tartalom adja a TC, azaz összes széntartalom értékét, a savval felszabadítható szén-dioxid tartalomból méri a készülék az IC, azaz szerves széntartalmat, a kettő különbsége pedig a TOC. A gázáramban mérhető szén-dioxid koncentrációt nem-diszperzív infravörös abszorbancia alapján határozza meg az analizátor. A folyadék minták kapcsán az oldatban lévő szerves széntartalom – DOC, azaz oldott szerves széntartalom - lényeges mérés ellenőrzési és minta-előkészítést segítő paraméter volt vizsgálataim során.

A minták kémiai oxigénigénye (KOI) kénsavas közegben, katalizátor jelenlétében káliumdikromáttal zárt rendszerben 150 °C-on forralással, majd ezt követően fotometriásan mérhető. A Hach DR/2000 típusú készülék a minták szerves szennyezettségének mértékét az oxidálószer fogyasztásával egyenértékű O₂ mg/L egységben adja meg. *(MSZ 260/16-82 Szennyvíz vizsgálatához)*

3.3 Minta-előkészítés

Az AOX készülékkel folyadék és szilárd minták is mérhetőek, viszont a szabványos előírás szerint a klór, bróm és jód tartalomnak meg kell haladnia a literenkénti 10 µg-ot. A gépkönyvi leírás alapján több feltételnek kell még teljesülnie ahhoz, hogy a mérés eredményesen megvalósulhasson. Fontos, hogy a DOC tartalom kisebb legyen literenként 10 mg-nál, illetve a szerves klorid és bromid tartalom kisebb legyen literenként 1 g-nál. Különböző szennyvizeknél előfordulhat, hogy a DOC vagy a szerves kloridion tartalom miatt hígítanunk kell a mintát, de vigyázni kell, hogy a hígítás mértéke ne haladja meg azt az arányt, amivel már nem lehet biztosítani az AOX tartalomra vonatkozóan a 10 µg-ot literenként.

A mintavételt követően lényeges feladat a minták tárolása, tartósítása. A szabvány alapján az élő sejteket tartalmazó minták pH értékét 2 alá célszerű levinni, majd az analitikai mérés előtt 8 órán át állni hagyni és a mérés megkezdéséig hűtőben tárolni. A mintáimat ezen előírások alapján 15 %-os salétromsavval tartósítottam és hűtve tároltam.

A folyadék minta-előkészítéshez 50-150 µm között változó szemcseméretű aktív szenet használtam. Az aktív szén tisztaságát a méréseket megelőzően ellenőriztem. Tapasztalataim szerint a gyárilag előkészített AOX tölteteket eléggé szennyezettnek bizonyult, így én készítettem

elő az AOX méréshez tartozó szorbens töltetet, közvetlenül az aktív szenes üvegből töltöttem meg a kvarccsöveket egy szénadagoló segítségével, amivel pontosan 50 mg mennyiségű szén jutatható minden csőbe. (Az aktív szénnel megtöltött kvarccsővecske a 4. ábrán.)



4. ábra A folyadék mintákhoz használt aktív szénnel töltött AOX mintacső

A 2. táblázatban jól látható, hogy a mérések során használt aktív szén idővel szennyeződött, ezen szennyeződést NaNO_3 mosóoldattal csökkenteni tudtam, így olyan értéket kaptam a gyárilag előkészített adszorpciós töltettel ellátott csövekre is, mint az általam készített, az aktív szent tartalmazó üveg felbontása utáni szénnel töltött kvarccső esetében.

	Mért Cl^- átlaga ($\mu\text{g}/50 \text{ mg}$)
Gyártó által készített	$5,4 \pm 0,2$
Általam készített, bontás után közvetlenül	$0,8 \pm 0,1$
Általam készített, bontás után 2 hónappal	$2,0 \pm 0,7$
Általam készített, bontás után 7 hónappal	$3,2 \pm 1,0$
Általam készített, bontás után 11 hónappal	$3,9 \pm 0,4$

2. táblázat AOX méréshez megtöltött kvarccsövek klorid szennyezettségének ellenőrzése ($n=3$)

Az adszorpciós aktív szenes csővecske a felbontás követően gondosan többszörösen becsomagolt és jól elzárt tárolás esetén megfigyeléseim szerint a laboratóriumi levegőn elszennyeződik, ezért a napi mérésekkel egyidejűleg mindig történt vakminta mérés.

A méréseket megelőzően a laboratórium levegőjének illékony szerves vegyület tartalmát is vizsgáltam tájékozódásképpen két héten keresztül kétféle helyszínen, két különböző laboratóriumban. A vizsgált laboratóriumok levegőjéből adszorbeálódó szerves vegyületek kimutathatóak voltak, ezen mérési eredmények a 3. táblázatban találhatóak. Az A laboratórium egy szerves preparatív munkához közeli, a B laboratórium pedig szervesetlen vegyületekkel foglalkozó laboratórium mellett található. A minta-előkészítést ezen tapasztalatoknak megfelelően kevésbé szennyezett környezetű B laboratóriumban végeztem.

Aktív szén érintkezési ideje a laboratóriumi levegővel (h)	Mért Cl ⁻ tartalom (µg/50mg)	
	A laboratórium	B laboratórium
Folyamatosan 1-2 h	2,0 ± 1,2	1,1 ± 0,3
Folyamatosan 3-4 h	8,9 ± 4,8	1,0 ± 0,2
Mérésre váró minták között (levegőtől elzárt dobozban)	1,2 ± 0,2	0,9 ± 0,3

3. táblázat Az A és a B laboratóriumlevegőjének hatása a mért halogénezett szerves anyag tartalomra - tájékoztató vizsgálat (n=3)

A folyadék minták előkészítésekor az AP2P adszorpciós pumpával (5. ábra) dolgoztam. Az AP2P minta-előkészítő egységen dupla adszorpciós modul található, amibe 2 db előkészített aktív szénrel töltött kvarccsővecske helyezhető. Az adszorpciós szűrőegység fecskendőjével felszívható minta és öblítő oldat térfogata 10-225 ml között változtatható, áramlási sebessége elektromosan vezérelt, percenként 3 ml folyadékot képes átpumpálni az adszorpciós modulon. Az öblítő oldat a szabvány szerinti 0,2 mol/L koncentrációjú NaNO₃ törzsoldatból készített 0,01 mol/L koncentrációjú NaNO₃ mosóoldat. Az elfolyó szennyvízminták AOX tartalmának mérése előtt ellenőriztem a DOC tartalmat, illetve a szerves klorid koncentrációt, ugyanis ennek tudatában terveztem meg a minta dúsítását, vagy éppen a hígítás mértékét. A minta-előkészítés közben is figyelemmel kísértem, hogy az aktív szén milyen térfogatból képes a szerves anyagokat teljesen megkötni, azaz mennyire tud még adszorbeálni, ilyen esetben a mintafelvétel utáni lecsöpögő folyadékból vettem mintát a DOC tartalom vizsgálatra. Továbbá a NaNO₃ mosóoldatos öblítést követően AgNO₃-tal csepp-próbát végeztem, hogy megbizonyosodjak arról, hogy a mintával az aktív szénre kerülő zavaró szerves klorid leöblítődött-e az aktív szénrel töltött kvarccsővecskékről. Ha úgy láttam, hogy a lecsöpögő mosóoldat a kiváló AgCl csapadék miatt opálos, akkor növeltem az NaNO₃ mosóoldat mennyiségét és újból ellenőrzést végeztem csepp-próbával.

A kommunális szennyvíztisztító telep elfolyó vizének magas DOC és szerves klorid koncentrációja miatt hígítanom kellett a mintákat, és kisebb mennyiségű mintatérfogat esetében is növelni kellett az NaNO₃ mosóoldat térfogatát, ha a szorpciót követően csepp-próbával

ellenőrizve még szervesetlen klorid volt az oldatban. Általában az eredeti minta kétszeresen hígított változatával, 50 ml-es mintatérfogattal dolgoztam, majd ezt követően a csepp próbától függően változó térfogatú NaNO_3 mosóoldatos öblítést alkalmaztam.



5. ábra A folyadék minták előkészítéséhez használt AP 2P szűrőegység

3.4 A multi X 2000 típusú AOX készülék méréshatárai, ellenőrző mérések

A legtöbb analitikai módszer kalibrációt igényel, de a gravimetriás mérések és a coulometria kivételt képez, ugyanis ebben a két esetben a megfelelő pontos fizikai paraméterekből a meghatározandó anyag mennyisége pontosan kiszámítható. Az AOX készülék esetében én sem végeztem kalibrációt, csak ellenőrző méréseket végeztem. Az ellenőrző méréseim két részből álltak, az egyik a cellára, a másik az analitikai készülék egészére vonatkozott. Cellapróba esetében eltérő koncentrációjú és térfogatú sósavat használtam, míg rendszerpróba esetén a szabványban előírt para-klór-fenollal dolgoztam, amelynél eltérő koncentrációjú, de azonos térfogatú standard oldatot használtam. A vizsgált minta-mátrixban is ellenőriztem a para-klór-fenol visszanyerhetőségét.

3.4.1 Cellapróba

A cella ellenőrzésénél leginkább az elektród működése, és méréshatárainak tesztelése volt a célom. A cellapróbánál ismert mennyiségű sósavat injektáltam közvetlenül a coulometriás cellába.

A készülék gépkönyvében leírt mérési intervallum $0,1 \mu\text{g Cl}^-$ -tól $250,0 \mu\text{g Cl}^-$ -ig terjed. Vizsgálataim azt igazolták, hogy az $1,0 \mu\text{g}$ klorid mennyiségig nem megfelelő az AOX tartalom visszanyerhetősége és igen nagy szórással tudtam „visszakapni” az elvi, várt értékeket. A készülékre általam meghatározott felső méréshatár meghaladta a gépkönyvben megadottat. A mérés pontossága miatt a gépkönyvben megadott mérési tartományt felbontottam külön-külön mérési szakaszokra és ennek segítségével végeztem a cellaellenőrzéseket. Ezen mérésszakaszok megtekinthetők a melléklet *M1.*, *M2.*, és *M3. ábráján*.

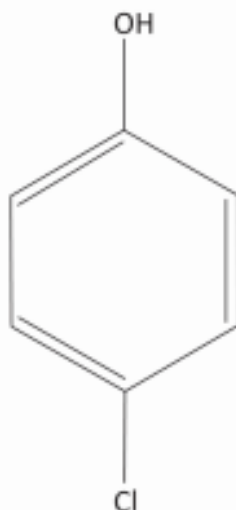
Azt állapítottam meg az ellenőrző vizsgálatok során, hogy leginkább a középső intervallumban közelít az 1-hez R^2 értéke. Azt is tapasztaltam, hogy az alsó intervallumban a kisebb mennyiségű kloridra vonatkozó abszolút értékeket rövid programidejű mérésekkel, viszonylag kis szórással visszakaptam, míg a $100,0 \mu\text{g}$ feletti abszolút klorid mennyiség mérése hosszabb mérésidőt igényelt. A *4. táblázatban* a mért adatok valamint a szórással és a visszanyerés átlagával százalékos formában kifejezett adatok.

Beinjektált Cl ⁻ (μg)	Mért Cl ⁻ átlaga (μg)	Visszanyerés átlaga (%)
1,1	0,9 ± 0,1	80 ± 6
1,8	1,5 ± 0,4	81 ± 8
3,6	2,8 ± 0,2	78 ± 4
5,3	4,7 ± 0,3	88 ± 6
7,1	7,4 ± 0,2	104 ± 3
8,9	9,1 ± 0,3	103 ± 3
10,7	10,8 ± 2,4	102 ± 22
11,0	11,0 ± 0,3	102 ± 5
14,2	14,6 ± 0,5	103 ± 4
17,8	15,8 ± 1,8	98 ± 8
36,5	36,9 ± 0,9	101 ± 3
71,7	73,8 ± 6,2	103 ± 8
107,0	108,8 ± 0,9	102 ± 1
184,6	209,0 ± 21,3	113 ± 12
223,7	275,2 ± 23,6	123 ± 11
255,6	317,1 ± 23,6	124 ± 12
319,5	394,2 ± 0,1	123 ± 5
355,0	445,9 ± 0,2	126 ± 6

4. táblázat A coulometriás cellába injektált sósav klorid tartalmának visszamérése (n=3)

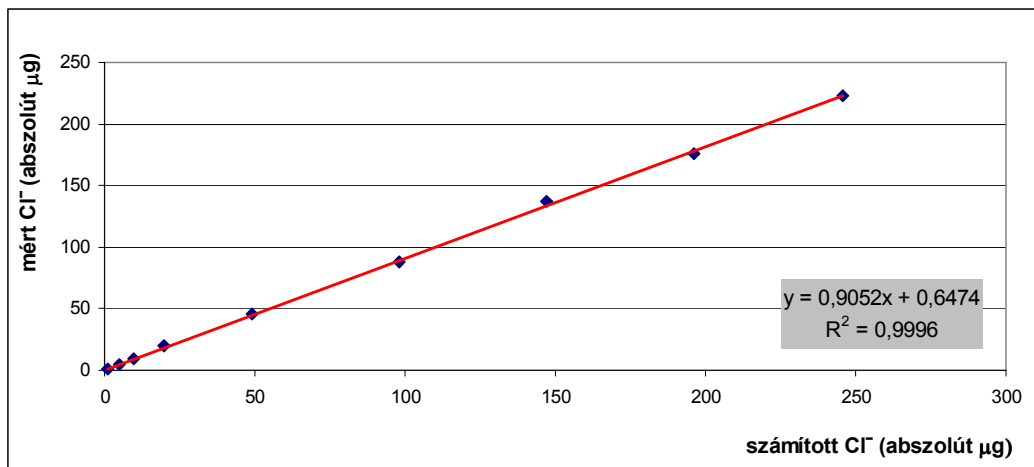
3.4.2 Analitikai rendszer ellenőrzése

A szabvány a para-klór-fenolt (6. ábra) ajánlja standardként a méréstartományok, a minta-előkészítési módszerek és a készülék egészének tesztelésére, ezért én is ezt a vegyületet használtam. A para-klór-fenol bemérése analitikai pontossággal történt. A készülék ellenőrzését kétféle törzsoldat elkészítési módszerrel végeztem. Az egyik esetben a para-klór-fenolt metanolban oldottam, ezzel a törzsoldattal és a megfelelően hígított oldatokkal a készülék mérési pontosságát teszteltem a készülékre megadott mérési intervallumban. A másik esetben kisebb mennyiségben került a törzsoldatba para-klór-fenol, amit vízben oldottam, ezzel ellenőriztem a minta-előkészítést, és modelleztem a környezeti mintákra jellemző mátrixot (ld.: később).



6. ábra Para-klór-fenol szerkezeti képlete, moláris tömege: 128,56 g/mol

Az ellenőrző mérésekkor a szilárd mintákra ajánlott, előégetéses programot használtam. Az ellenőrző mérés megkezdése előtt vakmintát is készítettem, amelyre olyan mennyiségű oldószert, azaz metanolt fecskendeztem, mint amennyit az ellenőrző mérés során az aktív szénrel töltött kvarccsővecskékbe. A mérési naptól függően, metanolban oldva 0,1 – 24,5 g/L közt változó koncentrációjú para-klór-fenol törzsoldatot készítettem. Ezt követően a mintafelvétel különböző koncentrációjú standard oldatok azonos mennyiségének injektálásával történt, ehhez egy 10 µl-es Hamilton fecskendőt használtam. A megfelelő koncentrációjú ellenőrző oldatból közvetlenül az égetés előtt jutattam az aktív szénrel töltött kvarccsővecskére a számított mennyiségű oldatot. A para-klór-fenol segítségével készített rendszerpróbát 1,0 µg és 250,0 µg közötti méréstartományban végeztem, méréseim alapján 93 ± 9 %-os visszanyerhetőséggel tudta a készülék az elvileg várt adatokat meghatározni. A 7. ábrán mutatom be az elvi Cl^- függvényében grafikusan ábrázolva a mért Cl^- értékeket erre a rendszert ellenőrző vizsgálatra.



7. ábra Para-klór-fenol klorid tartalmának visszamérése

A cellapróbát összehasonlítva a rendszerpróbával arra jutottam, hogy az adatokat abban a koncentráció intervallumban ami mérhető volt a cellában, a rendszerpróba esetén is kis szórással visszakaptam. A készülék ellenőrzés során megállapított mérési tartománya vizsgálataim során 1,0 – 355,0 µg közötti szervesen kötött klórmennyiségnek bizonyult. Átlagban 95%-os visszanyerhetőséget tapasztaltam, ami a környezeti minták összetételétől függően változhat.

4. MÉRT ADATOK ÉS EREDMÉNYEK

4.1 Vakminta

A mintákhoz minden mérési napon készítettem vakmintát és ezzel korrigáltam a mintára kapott értékeket. A vakminták összetétele a mintasorozatokban minden esetben megegyezett a vizsgálandó mintákéval, tartalmazta az előkészítés során a pH, nitrátion-tartalom beállításához alkalmazott vegyszereket. Figyelemmel követtem az aktív szén állapotát, és az ioncserélt desztillált víz TOC értékének változásait, ügyeltem a laboratóriumi levegő folyamatos cseréjére, valamint az általam használt eszközök tisztaságára, használat utáni gondos savazásukra.

A vizsgálataim megkezdése előtt ellenőriztem a szén tisztaságát, megfigyeltem, hogy az eredeti aktív szenes üvegcsében az aktív szén a felbontást követően pár hónapig kis változással tartja a már előzőleg mért Cl^- tartalmát, ezért ezen összehasonlító méréseket igyekeztem közel azonos időpontban elvégezni, ugyanazzal a szénrel. A méréseimet zavarta a laboratóriumi levegő „tisztasága”, ami néhol anomáliákat okozott a vakminták mérésénél. A laboratórium nem megfelelő szeparáltsága nemcsak a szén elszennyeződésében, de a mindennapos méréseknél is gondot okozott. Az AP 2P minta-előkészítő egység segítségével előkészített vakok esetén nem 50 mg, hanem 100 mg aktív szén szennyezettségéhez viszonyítottam a vak értékeket. A szén gondos csomagolás ellenére is idővel egyre szennyezettebbé válik az állás során AOX szempontjából, ezzel számolnom kellett minden mintánál. Mivel minden esetben a mérési napokon készítettem el a vakmintát, ezért mindig az aktuálisan mért vak értékkel számoltam. A TDK munka mérései során a vakmintára mért érték átlagosan $1,1 \pm 0,9 \mu\text{g}$ volt.

A vakmintákra mért értékek viszonylag kicsik voltak, de a megfelelő külső körülmények biztosításával is nagy szórással voltak reprodukálhatóak ezen értékek. Ezzel is az a megállapítás támasztható alá, hogy a készülék a kimutatási határ közelében viszonylag nagy szórással mér, ahogy már megállapítottam ezt a cella és a rendszerpróba ellenőrzésénél is.

4.2 Kémiaiilag kezelt kommunális elfolyó víz vizsgálata

Az általam vizsgált elfolyó víz a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepről származik. Az elfolyó vizet április közepétől október közepéig klórozzák a telepen, a vizsgált mintáim javarésze ezen időperiódusban érkezett. A szennyvíztisztító elfolyó vizével többféle kísérlet folyik az egyetemen, az én feladatom az volt, hogy az eredeti elfolyó vizet, és ezen víz klórozás utáni, illetve az oxidatív-derítő eljárással utókezelt víz AOX tartalmának változását figyeljem. A vízminták havonta egyszer érkeztek ezen periódusban az egyetemre, az esetek többségében átlagmintákkal, egy esetben pedig pontmintákkal is dolgoztam. A derítés a minták esetében oxidációs lépéssel együtt járó koaguláló-flokkuláló eljárással történt, amely során a kolloid méretű részecskék aggregálódnak a vegyszeradagolással szabályozhatóan, a létrejött mikro- és makropelyhek ülepítéssel elválaszthatóak. A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep elfolyó vize derítéskor kétféle, eltérő koncentrációjú oxidálószerrel lett kezelve. Azt vizsgáltam, hogy a vegyszeradagolás eltérése hatással van-e az oldatfázisban lévő AOX tartalom változására. Az AOX mérések mellett csíraszám, illetve szerves anyag eltávolítás vizsgálatok is folytak, a mellékletben az *M2.* és az *M3 táblázat* tartalmazza azon vizsgált mintákra számolt eltávolítási adatokat, amelyeknél az adott oxidáló vegyszer mennyisége a leghatékonyabbnak bizonyult.

4.2.1 Minta-előkészítés, mérési módszer kidolgozása

Az eredeti biológiailag tisztított szennyvízminták fontosabb jellemzői; a pH, KOI, TOC a melléklet *M1. táblázatában* megtalálhatók.

Az AOX mérés előtt a mintákat 0,45 µm-es üvegszálás membránszűrővel átszűrtem, majd a pH-jukat 2-esre állítottam be a szabvány szerint, és hűtve tároltam ezeket. A minták szervesetlen klorid koncentrációját és DOC tartalmát is ellenőriztem. Ennek tudatában választottam meg az AP 2P minta-előkészítő egységgel átszűrt minta- és mosóoldat mennyiséget. A folyadék mintához a szabvány által ajánlott NaNO₃ mosóoldat mennyiséget (25 ml) a nagy szervesetlen klorid koncentráció miatt változtatnom kellett a csepp-próba eredményétől függően, ez a szükséges

mosóoldat mennyiség 50-75 ml volt. Az eredeti minta szervesetlen klorid tartalma 177,5 és 255,6 mg/L közötti, míg az oxidálószerrel kezelt minta szervesetlen klorid tartalma is eléggé változó volt, így 177,5 és 320,7 mg/L között változott, ezt a változást a mintavétel időpontja is befolyásolta. A 5. táblázatban példaként egy mintavételi naphoz tartozóan a telepről elfolyó víz klórozás előtti és utáni, illetve az egyetemen kétféle oxidálószerrel kezelt víz szervesetlen klorid tartalma látható.

Szennyvíztelepről elfolyó víz	Oxidáló vegyszer mennyisége (ppm)	Cl ⁻ tartalom (mg/L)
Klórozó medence előtti	0,0	177,5
Klórozó medence utáni	15,0	142,0
Egyetemen (2)-es oxidálószerrel kezelt (a)	3,9	142,2
Egyetemen (2)-es oxidálószerrel kezelt (b)	13,7	177,5

5. táblázat Az elfolyó víz szervesetlen klorid tartalma kémiai kezelés előtt és után (2010. 06. 17.)

A folyadék mintáknál a szabvány előírja, hogy a DOC tartalom a 10 mg-ot ne haladja meg literenként. Ha így számolunk, akkor 50 ml mintából maradéktalanul 0,5 mg DOC adszorbeáltható. Az esetek többségében 10 mg fölötti DOC tartalommal kellett számolnom tekintve, hogy a minták DOC tartalma 15-25 mg/L volt. Ahhoz, hogy az adszorbeáltatott minta oldott szerves szén tartalma ne haladja meg a 0,5 mg-ot, azzal próbálkoztam, hogy az átszűrt minta mennyiségét felére csökkentem, azaz 25 ml-t szűrtem át a szénen. Sajnos az ellenőrző DOC méréseknél a szorpciót követően is volt 1,6 – 3,0 mg DOC literenként a már átfolyt mintában, ami azt jelentette, hogy az aktív szén nem adszorbeálta teljesen a mintában lévő szerves vegyületeket. Ezért duplájára hígítottam a mintát és 50 ml-t adszorbeáltattam, így a szűrést követően a minta DOC tartalma kisebb volt, mint 0,1 mg literenként. A mérési eredmények a 6. táblázatban találhatók.

Minta megnevezése	AOX (µg/L)	DOC ellenőrzés (mg/L)	
		Eredeti	Szorpációt követő
<i>klórozás előtti elfolyó víz</i>	<i>245,6 ± 20,4</i>	<i>16,2</i>	<i>2,4 ± 1,0</i>
<i>klórozás utáni elfolyó víz</i>	<i>268,4 ± 20,8</i>	<i>14,9</i>	<i>3,0 ± 0,5</i>
<i>kémiaailag kezelt (1)</i>	<i>303,2 ± 20,9</i>	<i>13,3</i>	<i>1,6 ± 1,1</i>
<i>kémiaailag kezelt (2)</i>	<i>228,0 ± 10,2</i>	<i>13,4</i>	<i>2,7 ± 0,7</i>
<i>kémiaailag kezelt (3)</i>	<i>321,2 ± 52,0</i>	<i>13,2</i>	<i>2,4 ± 1,0</i>
klórozás előtti elfolyó víz	238,5 ± 1,3	16,2	<0,1
klórozás utáni elfolyó víz	345,0 ± 14,0	14,9	0,3
kémiaailag kezelt (1)	286,6 ± 12,6	13,3	<0,1
kémiaailag kezelt (2)	285,1 ± 10,4	13,4	0,4
kémiaailag kezelt (3)	263,4 ± 26,0	13,2	<0,1

6. táblázat A mérési módszer kidolgozása a 2010. 05. 19-ei mintákra (n=3)

Az AOX gépkönyvi leírásában külön kitérnek arra, hogy az AP 2P szűrőegységhez használt két széncsővecskében az adszorbeált minta úgy osztódjon el, hogy a második csővecskében az első 20 %-ánál több ne legyen. A mérési módszer kidolgozásánál ezt is figyelemmel követtem, a 7. táblázatban feltüntettem, hogy a második széncsővecske töltetén az első széncsővecske töltetéhez képest hány %-nyi volt a mért Cl^- tartalom.

Minta megnevezése	mért Cl^- (µg/50 mg)		2./1. szén Cl^- tartalma (%)
	1. szén	2. szén	
klórozás előtti elfolyóvíz	6,5 ± 0,2	1,8 ± 0,7	28 ± 12
klórozás utáni elfolyóvíz	6,4 ± 0,3	1,8 ± 0,4	28 ± 8
kémiaailag kezelt (1)	6,8 ± 0,9	1,6 ± 0,7	23 ± 9
kémiaailag kezelt (2)	6,0 ± 0,4	1,2 ± 0,1	20 ± 3
kémiaailag kezelt (3)	8,2 ± 1,2	1,3 ± 0,1	16 ± 1
klórozás előtti elfolyóvíz	5,7 ± 0,3	0,7 ± 0,1	12 ± 1
klórozás utáni elfolyóvíz	8,4 ± 0,4	1,0 ± 0,5	11 ± 6
kémiaailag kezelt (1)	7,1 ± 0,7	0,6 ± 0,2	8 ± 4
kémiaailag kezelt (2)	6,8 ± 0,3	1,1 ± 0,4	16 ± 5
kémiaailag kezelt (3)	6,8 ± 1,1	0,6 ± 0,1	9 ± 3

7. táblázat Az mért Cl^- adatok eloszlása az aktív szén csővecskék töltetén (n=3)

A minta-előkészítést a kétszeresen hígított minták 50 ml-jével végeztem a kezelt és kezeletlen mintasorozat vizsgálatakor. Ezt a minta-előkészítést annak alapján változtattam, hogy a második széntöltetű adszorpciós csőben, ez esetben volt kedvezően kishányadú AOX megkötés, amellet, hogy az átfolyó oldatban a DOC értéke is teljes szerves anyag megkötésre utalt (ld.: 6. és 7. táblázat). Összességében a minta-előkészítés optimalizálásával a 2010. 05. 19-ei mintasorozatra a mért AOX értékek kisebb szórással jobban reprodukálható adatokat adtak, ez a 6. táblázatban látható.

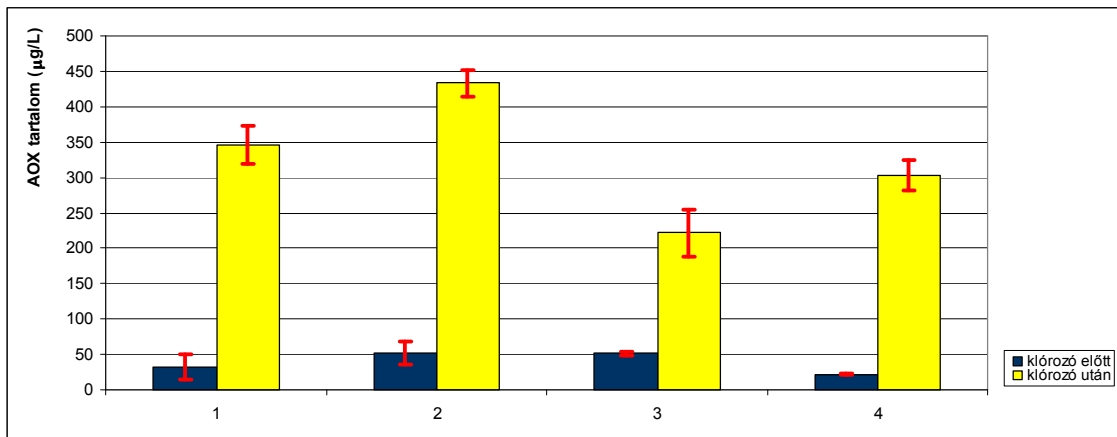
A kidolgozott minta-előkészítési módszert alkalmazva az egyes hónapokban megmértem a minták AOX tartalmát, megállapítottam, hogy a biológiailag kezelt elfolyó víz AOX tartalma 36,6 és 237,7 µg/L között, a mintavétel időpontjától függően változott, átlagosan 101,5 µg/L-nek adódott, az egyes mérések szórásainak átlaga pedig 4,2 µg/L volt (8. táblázat).

Mintavétel ideje	klórozás előtti minta	klórozás utáni minta
	AOX tartalom (µg/L)	AOX tartalom (µg/L)
2010.03.24.	93,2 ± 5,1	-
2010.04.14.	508,4 ± 22,1	-
2010.05.19.	237,7 ± 1,7	345,0 ± 24,0
2010.06.17.	110,6 ± 12,2	380,9 ± 38,4
2010.07.22.	36,6 ± 3,7	158,7 ± 26,1
2010.09.08.	39,1 ± 8,1	325,6 ± 6,1
2010.10.12.	83,4 ± 4,2	223,5 ± 16,4

8. táblázat A kísérleti periódus során a tisztított szennyvíz AOX tartalmára nyert adatok a klórozás előtt és után (n=3)

4.2.2 Az elfolyó víz klórozása a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepen

A vizsgálatok többségét 24 órás átlagmintával végeztem, kivételt képezett a 2010. 09. 07-08-án vett 4 db minta, amelyek 6 óránként vett klórozó előtt és után vett pontminták voltak. A 8. ábrán látható az előbb említett mintára mért AOX adat. Az első három minta sterilizált üvegbe vett minta volt, míg a negyedik és a harmadik klórozott előtti és utáni egyaránt PET palackba kerültek.

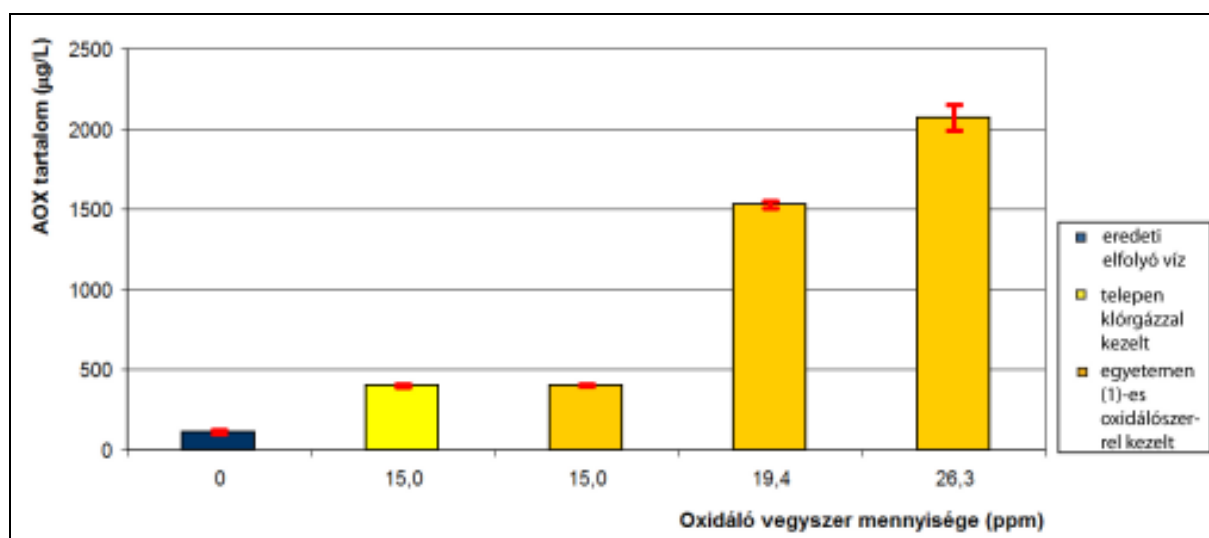


8. ábra 2010. 09. 07-08-án vett klórozó előtti és utáni négy pontminta AOX tartalma (n=3)

A klórozó medence előtti vízminták AOX koncentrációja 21,1 és 51,6 µg/L közötti volt, míg a klórozó utáni mintákra mért AOX érték 221,4 illetve 432,9 µg/L között változott. Összességében elmondható, hogy a 4 db pontmintából mért eredeti elfolyó víz AOX tartalmának átlaga $39,1 \pm 8,1$ µg/L, míg klórozás után $290,1 \pm 5,7$ µg/L volt. A 8. táblázatban átlagminták adatai láthatóak, ahol minden időpontban klórozás után nagyobb volt az AOX tartalom, mint a klórozás előtt. Átlagosan azt tapasztaltam, hogy a 100 körüli µg/L AOX koncentráció 185 µg/L AOX tartalommal növekedett. Átlag- és pontmintáknál, azaz minden mintatípus esetén azt tapasztaltam, hogy a klórozó előtti víz AOX tartalma kisebb volt, mint a klórozó medence utánié.

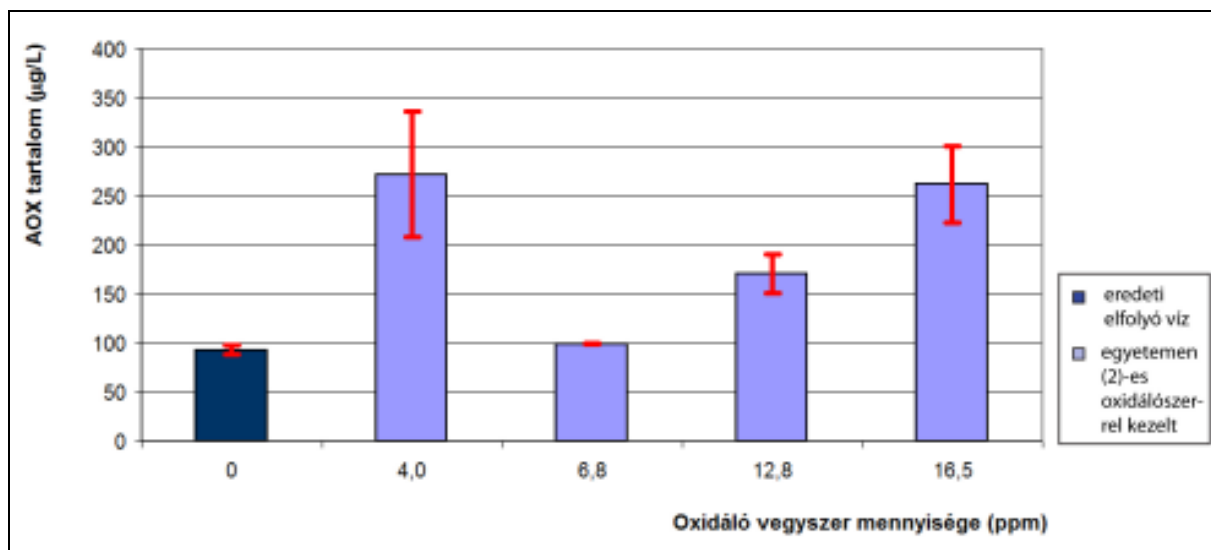
4.2.3 Korszerű oxidáló vegyszerrel kezelt elfolyó víz AOX tartalma

Az egyetemen kétféle oxidáló vegyszerrel is folynak kísérletek. A 9. ábrán összehasonlítottam a telepen klórozott elfolyó vizet, az egyetemen ugyanazon klórozó előtt vett tisztított szennyvíz laboratóriumi körülmények között (1)-es oxidálószerrel kezelt változatával. Az ábrán látható, hogy az ipari vegyszer adaggal megegyező mennyiségű (1)-es oxidálószerrel az iparihoz hasonló AOX eredményeket kaptam, az (1)-es oxidálószer többlettel azonban 3-4-szeresére is megnövekedhet az AOX értéke.

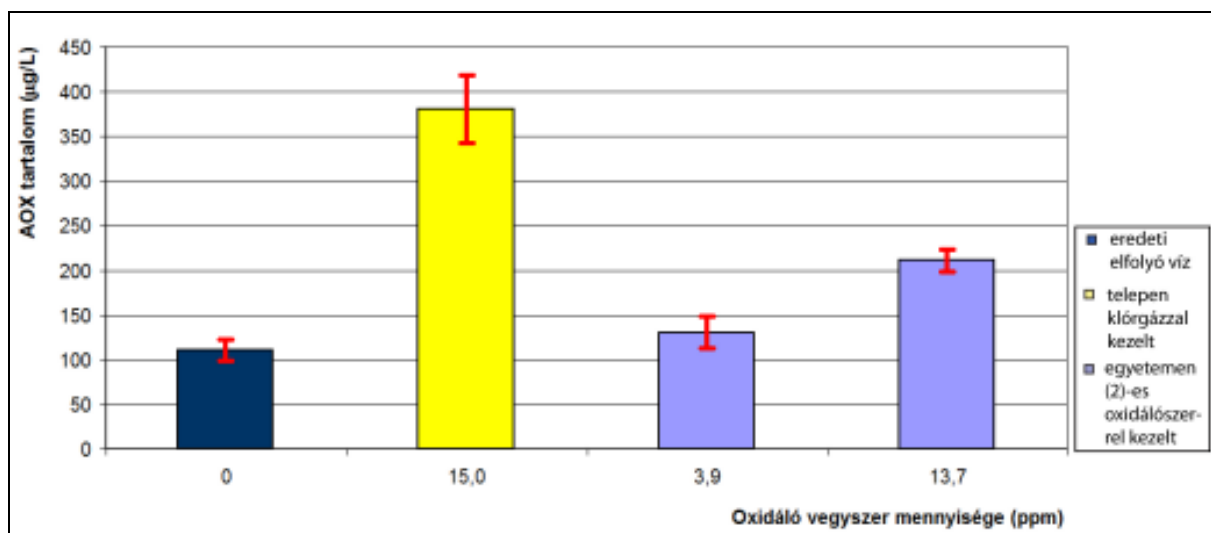


9. ábra 2010. 06. 17 átlagminta vételből származó elfolyó víz AOX tartalmának változása az oxidálószer minősége és mennyisége függvényében (n=3)

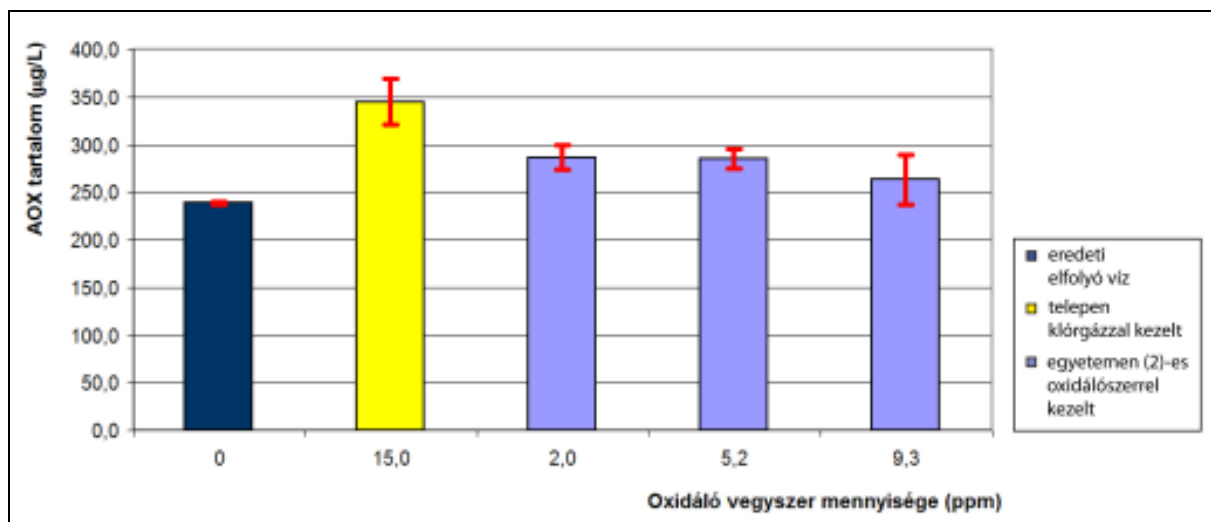
A 10., 11., 12. eltérő mintavételi időpontból származó adatokat bemutató ábrákon az eredeti, biológiailag kezelt elfolyó vizet sötétkékkel, az egyetemen laboratóriumi kísérleti során oxidáló vegyszerrel kezelt mintákat világos kékkel, míg a telepen klórozott mintát citromsárgával jelöltem. Az ábrákon látható, hogy a (2)-es oxidálószer használva az eredeti mintához képest 3,9 és 9,3 ppm közötti koncentrációjú vegyszeradagnál volt az eredeti elfolyó vízhez képest ugyanakkora vagy valamivel kisebb az AOX tartalom.



10. ábra A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep elfolyó vizének AOX tartalom változása eltérő vegyszeradag függvényében (2010. 03. 24.; n=3)



11. ábra A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep elfolyó vizének AOX tartalom változása eltérő vegyszeradag függvényében (2010. 06. 17.; n=3)



12. ábra A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep elfolyó vizének AOX tartalom változása eltérő vegyszeradag függvényében (2010. 05. 19.; n=3)

Összességben elmondható, hogy a minta-előkészítési módszer optimalása után sikerült kis szórással az AOX vegyületek meghatározása mind az eredeti, mind a kezelt szennyvízminták esetében. Megállapítottam, hogy a kutatócsoport által használt oxidáló-derítő eljárások közül az 1-es oxidálószer megfelelő csírátlánítás esetén már kissé növelte az eredeti szennyvízminta AOX tartalmát, míg a 2-es oxidálószer egy meghatározott koncentráció intervallumban a kezelt minta AOX tartalmát nem növelte. Legtöbb esetben ezen oxidálószer mennyiségének növelésekor volt olyan tartomány, ahol a többi kezelt mintához képest kevesebb volt az AOX tartalom és volt, ahol hibahatáron belül megegyezett az eredeti mintáéval. Az elfolyó víz vizsgálatok alkalmával ellenőrzésképpen KOI, TOC és csíraszám meghatározás is folyt, a paraméterekre vonatkozó eltávolítási értékeket a *M2. és M3. táblázatban* tüntettem fel. Az egyetemen (1)-es oxidálószerrel kezelt minta az AOX tartalom tekintetében nem mutatott eltérést a telepítől. A csírátlánítás szempontjából a telepen klórozott minta 99,9 %-os, míg az egyetemen ugyanolyan 15 ppm (1)-es oxidálószer mennyiséggel kezelt minta csírátlánítási hatékonysága 99,7 % volt, míg a szerves anyag nem csökkent számottevően. Összehasonlítva a telepen klórozott vízmintákat az egyetemen (2)-es oxidálószerrel kezelt mintákkal, a csírátlánítási eredmények mindkét esetben 99,9 %-os hatásfokot mutattak, míg a laboratóriumban kezelt minták AOX tartalma kisebb, szerves anyag eltávolítása jobb lett, mint a klórral kezelt telepi minták esetében.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A szakirodalmi összefoglalásban áttekintettem a szerves halogenid vegyületek mérési lehetőségeit, a különböző szennyvizek AOX eltávolításának hatékonyságát.

Vizsgálataimat a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep elfolyó vizével végeztem. A telepről klórozás előtti, azaz mechanikailag és biológiailag tisztított-, illetve a szennyvíz fertőtlenítésére alkalmazott klórozás utáni minták adszorbeálható szerves halogén vegyület (AOX) tartalom változásait követtem figyelemmel fél éven keresztül havi rendszerességgel. Emellett néhány esetben vizsgáltam a klór helyettesítésére használt kétféle oxidálószerrel kezelt minták AOX koncentrációinak változását is. Méréseimet a multi X 2000 AOX analizátorral végeztem.

Megállapítottam, hogy az analizátor jól alkalmazható szennyvízminták AOX tartalmának meghatározására, a mintától függő minta-előkészítési módszer megválasztásával. A kommunális szennyvízminták mérése előtt optimalám a minta-előkészítési módszert az aktuális magyar szabványt alapul véve. Ellenőriznem kellett a szennyvízminták DOC, illetve szerves klorid tartalmát, hogy az adszorpció a lehető legkevesebb zavaró hatás befolyásolja. Az esetleges szerves kloridot a szabvány szerint megadott mosóoldattal távolítottam el, amely mennyiségét a minta szennyezettségétől függően változtatnom kellett.

Összességében megállapítottam, hogy a szennyvíztelepen mechanikailag és biológiailag kezelt elfolyó víz AOX tartalma az általam vizsgált időszakban átlagosan $101,5 \pm 82,3 \mu\text{g/L}$, a klórozás utáni pedig jelentősen nagyobb, átlagosan $279,6 \pm 90,0 \mu\text{g/L}$ volt. Azt tapasztaltam, hogy az egyetemen használt (1)-es oxidálószer alkalmazó eljárással kezelt minta, viszont a (2)-es oxidálószerrel kezelt mintákra mért AOX tartalom az eredeti elfolyó vizéhez képest kisebb vagy azzal azonos volt. Az adatok azt mutatták, hogy az adott biológiailag tisztított kommunális szennyvíz megfelelő oxidáló módszerrel történő kezelése a klórgázzal történő fertőtlenítéshez képest kedvezőbb eredményre vezetett. A laboratóriumban vizsgált oxidatív eljárások egyike hatékony csírámentesítés és az AOX tartalom kedvezőbb alakulás mellett a szerves anyag eltávolítás tekintetében is hatékonyabbnak bizonyult.

6. IRODALOMJEGYZÉK

ANALYTIK JENA AG (2004): Investigations on the stability of the electrolyte solution in AOX routine operation, Jena;

http://www.analytik-jena.com/files_db/1257941449_426__3.pdf

ANALYTIK JENA AG (2004): AOX Analysis – Routine or challenge, Jena;

http://www.analytik-jena.com/files_db/1257941378_2396__3.pdf

AURAS (2001): Ingenieurgesellschaft für aktive Umweltberatung, Risikoanalyse und Sicherheit mbH, Hohe AOX Gehalte im Klärschlamm

<http://www.auras.de/aox.htm>

BANERJEE S., KEMENY T.E., SACKE-LARES R., JUSZYNSKI M. D. (1996): AOX/COD Removal in an ASB, TAPPI Environmental Conference Exhibit, Orlando, Florida

BENABDALLAH EL-HADJ T., DOSTA J., TORRES R., MATA-A'LVAREZ J. (2007): PCB and AOX removal in mesophilic and thermophilic sewage sludge digestion, Biochemical Engineering Journal 36; 281 – 287.

BORNHARDT C., DREWES J.E., JEKEL M. (1997): Removal of organic halogens (AOX) from municipal wastewater by powdered activated carbon (PAC)/ activated sludge (AS) treatment, Water Science and Technology 35; 147 – 153.

DESHMUKH N. S., LAPSIYA K.L., SAVANT D.V, CHIPLONKAR S.A., YEOLE T.Y., DHAKEPHALKAR P.K., RANADE D.R. (2009): Upflow anaerobic filter for the degradation of adsorbable organic halides (AOX) from bleach composite wastewater of pulp and paper industry, Chemosphere 75; 1179 – 1185.

DREWES J. E., JEKEL M. (1998): Behavior of DOC and AOX using advanced treated waster for groundwater recharge, *Water Research* 32, 3125 – 3133.

FISCHER J., WOLF J (1991): Method of lowering the AOX content in water, United States Patent 19.

GREON C., DYBDAHL H. P. (1996): Determination of total organic halogens (TOX); bias from a non-halogenated organic compound; *Environment International* 22; 325 – 329.

HAGG, W.R., HOIGNE, J. (1983): Ozonation of bromide-containing waters: kinetics of formation of hypobromous acid and bromate. *Environ. Sci. Technol.* 17, 261–267.

JIANG, J.Q., YIN, Q., ZHOU, J.L., PEARCE, P. (2005): Occurrence and treatment trials of endocrine disrupting chemicals (EDCs) in wastewaters. *Chemosphere* 61(4), 544–550.

KAULBACH R. (1993): AOX and COD removal from landfill leachates with ozone and radical reactions, Eleventh ozone world congress, San Francisco

KOSCHUH B., MONTES M., CAMUFIA J. F., PEREIRO R., SANZ-MEDEL A. (1998): Total Organochloride and Organobromide Determinations in Aqueous Samples by Microwave Induced Plasma-Optical Emission Spectrometry, *Microchim Acta* 129; 217 – 223.

KOSTAKIS C., NICHOLSON B. C. (2001): Impact of Ozone on Disinfection By-Products: Comparison of three Surface Waters with Differing Character, CRC for Water Quality and Treatment

LAKY D. 2008: Oxidáció és fertőtlenítés a víz és szennyvíztisztításban, BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék

MACHEREY-NAGEL GMBH & Co.: Test 0-07 10,09; Nanocolor AOX3, Németország

MSZ EN 1485 (2004): Vízminőség. Adszorbeálható, szervesen kötött halogének (AOX) meghatározása (ISO: 9562:2004)

MURÁNYI R (2004): Development of continuous measuring method for adsorbable organically bound halogens in waters (AOX monitor); Periodica Polytechnica Ser. Chem Eng. 49; 25 – 89.

MURÁNYI R, CSERFALVI T. (2007): High Performance Microcoulometry, Materials Science Forum 537 – 538; 687 – 694.

MÜLLER G. (2003): Sense or no-sense of the sum parameter for water soluble “adsorbable organic halogens” (AOX) and “absorbed organic halogens” (AOX-S18) for the assessment of organohalogens in sludges and sediments, Chemosphere 52, 371 – 379.

ROOK, J.J. (1974): Formation of haloforms during chlorination of natural waters, Water Treat. Exam. 23(2), 234–240.

SALKINOJA-SALONEN M., UOTILA J., JOKELA J., LAINE M., SASKI E. (1995): Organic halogens in the environment: studies of environmental biodegradability and human exposure, Environ. Health Perspect. 103; 63 – 69.

SENTEN R., CALDERS R. (2007): Reduction of chloramines in pool water, Ontwerptekst serie

SHOMAR B. (2007): Sources of adsorbable organic halogens (AOX) in sludge of Gaza, Chemosphere 69; 1130 – 1135.

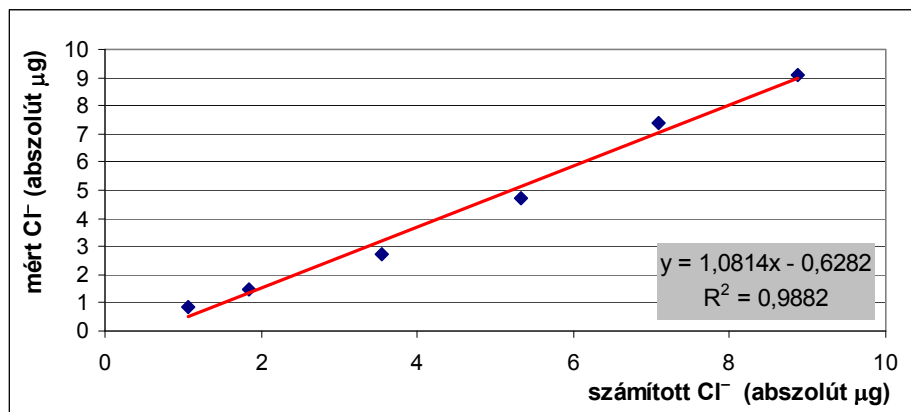
TASELI. B. K. (2007): Dehalogenation and decolorization of wheat strawbased bleachery effluents by *Penicillium camemberti*, African Journal of Biotechnology 6; 304 – 306.

TWIEHAUS T., EVERS S., BUSCHER W., CAMMANN K. (2001): Development of an element-selective monitoring system for adsorbable organic halogens (AOX) with plasma emission spectrometric detection for quasi-continuous waste-water analysis, Springer-Verlag Fresenius J. Anal. Chem. 371; 614 – 620.

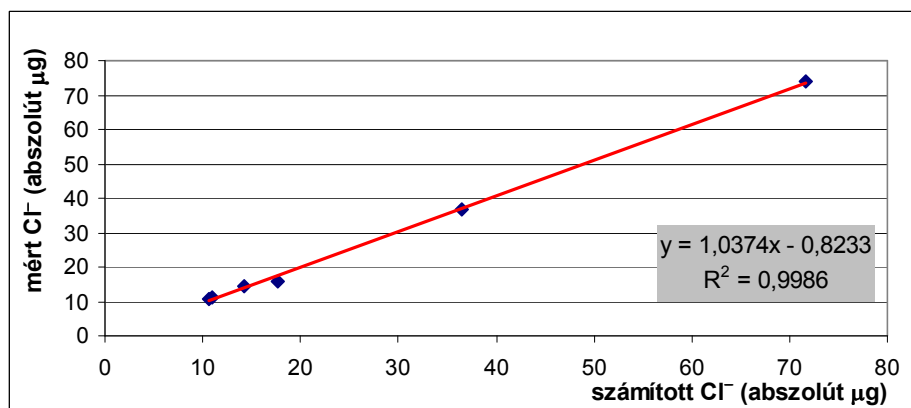
UĞURLU M., KARAOĞLU M. H. (2009): Removal of AOX, total nitrogen and chlorinated lignin from bleached Kraft mill effluents by UV oxidation in the presence of hydrogen peroxide utilizing TiO₂ as photocatalyst, Environ. Sci. Pollut. Res. 16; 265 – 273.

WEDECO (2003): Ozone Treatment of Cooling Water, Boulevard de la Muette

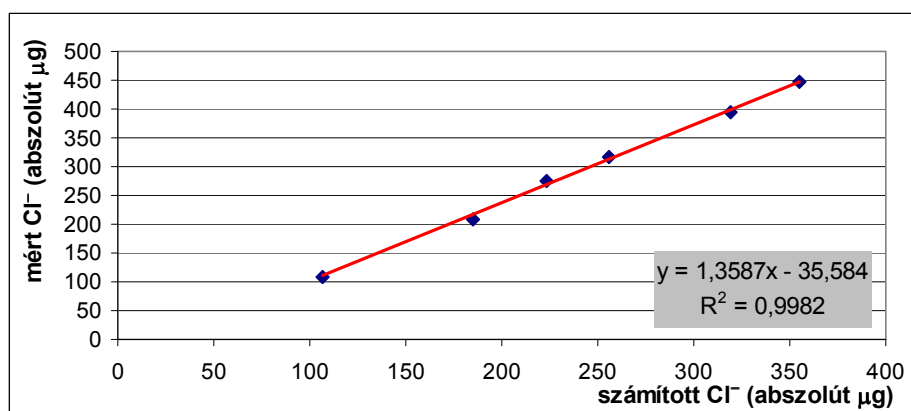
7. MELLÉKLET



M1. ábra Cellapróba sósavval az alsó mérési intervallumban



M2. ábra Cellapróba sósavval a középső mérési intervallumban



M3. ábra Cellapróba sósavval a felső mérési intervallumban

Mintavétel ideje	pH	KOI (O₂ mg/L)	TOC (C mg/L)
2010.03.24.	8,01	49	15,8
2010.04.14.	-	22	-
2010.05.19.	7,36	40	16,2
2010.06.17.	7,51	30	12,9
2010.09.08.	7,90	70	25,1

M1/a. táblázat A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepről származó klórozás előtti elfolyó víz adatai

Mintavétel ideje	pH	KOI (O₂ mg/L)	TOC (C mg/L)
2010.03.24.	-	-	-
2010.04.14.	-	-	-
2010.05.19.	7,14	36	14,9
2010.06.17.	7,37	30	12,6
2010.09.08.	7,68	89	26,2

M1/b. táblázat A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepről származó klórozás utáni elfolyó víz adatai

		Oxidáló vegyszer mennyisége (ppm)	KOI eltávolítás (%)	TOC eltávolítás (%)	Csíraszám eltávolítás (%)
2010. 05. 19.	Telepen klórgázzal kezelt	15,0	3,5	17,7	99,9
2010. 06. 17.		15,0	9,1	0,0	99,9
2010. 09. 08.		15,0	-	-	99,9
2010. 09. 08.	Egyetemen (1) oxidáló- szerrel kezelt	15,0	-	-	99,7

M2. táblázat Az elfolyó víz oxidatív kezelésekor nyert szerves anyag és csíraszám eltávolítás

		Oxidáló vegyszer mennyisége (ppm)	KOI eltávolítás (%)	TOC eltávolítás (%)	Csíraszám eltávolítás (%)
2010. 03. 24.	Egyetemen (2)oxidáló- szerrel kezelt	6,8	49,0	8,2	99,8
2010. 05. 19.		2,0	14,0	10,5	99,9
2010. 06. 17.		13,7	51,5	12,6	99,9
2010. 07. 15.		9,8	-	29,3	100,0

M3. táblázat Az elfolyó víz oxidatív kezelésekor nyert szerves anyag és csíraszám eltávolítás

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném köszönetem kifejezni témavezetőmnek, **Dr. Barkács Katalin** adjunktusnak, aki mind a laboratóriumi munkám, mind az irodalmazási és adatfeldolgozási feladataim elvégzésében segített és hasznos tanácsokkal látott el. Köszönetet szeretnék mondani az Analitikai Kémiai Tanszék korábbi vezetőjének, **Dr. Záray Gyula** egyetemi tanárnak, aki lehetővé tette, hogy a tudományos diákköri munkámat a Tanszéken végezhessem, illetve a kutatócsoport tagjainak, akik segítségemre voltak a méréseim során.